

工作面坚硬顶板高压水预裂切顶卸压技术应用

王伟智（新疆阿克苏地区拜城县峰峰煤焦化有限公司，新疆 阿克苏 842300）

摘要：拜城县峰峰煤焦化有限公司弘扬煤矿 2303 工作面顶板为坚硬岩层，工作面顶板不能随采及时垮落。为提高工作面回采安全性，采用高压水预裂技术对坚硬顶板进行压裂和软化，从而削弱坚硬顶板的强度和整体性，使采空区顶板能够分层次垮落，缩短初次来压和周期来压步距，达到减小或消除坚硬难垮顶板对工作面回采危害的目的。结果表明这一技术对工作面顶板及时垮落有着非常显著的效果。

关键词：坚硬顶板；高压水预裂；切顶卸压

1 引言

高压水预裂是指裂纹由于其内部液体压力的作用而开裂并扩展的过程，由于应用领域的不同，有时也称作水压致裂或水力劈裂。高压水预裂技术广泛应用于石油、天然气或地热的开采及增产、放射性废物的处置、地应力的测量等领域。

高压水预裂技术对坚硬顶板的控制有着非常明显的效果，主要表现在压裂和软化两个方面，从而削弱顶板的强度和整体性，使采空区顶板能够分层次垮落，缩短初次来压和周期来压步距，达到减小或消除坚硬难垮顶板对工作面回采危害的目的，已在生产实践中显示出良好的技术经济和社会效益。

拜城县峰峰煤焦化有限公司弘扬煤矿 2303 工作面顶板为坚硬岩层，工作在回采后老顶不易垮落，给安全生产带来较大隐患。采用水力压裂切顶卸压技术，缩短了老顶初次垮落步距，由原来 30-35m 缩小至 13-15m，保证了安全生产。

2 工作面高压水预裂初次放顶技术

2.1 简介

高压水预裂技术是使用高压注水泵通过钻孔向煤、岩层压入高压水，以高压水冲压孔内煤岩孔壁以破坏煤体、岩体结构，使煤、岩层内产生裂缝或者使原来的闭合裂隙被压开形成新的裂隙，以解决煤炭开采过程中遇到的坚硬厚（高瓦斯）煤层综放开采顶煤的弱化、坚硬顶板大面积来压处理、冲击矿压、瓦斯突出、遗留煤柱卸压、煤层增透瓦斯高效抽采等问题。

煤矿井下高压水力压裂原理是借助高压水通过钻孔以大于煤岩层滤失速率的排量向煤岩体注入，克服最小地应力和煤岩体的抗拉强度，在煤岩层各种原生弱面内对弱面两壁面产生的劈裂或支撑作用使弱面发生张开、扩展和延伸，从而对煤层形成内部分割，这种分割过程一方面通过原生弱面的张开和扩展，增大了裂隙等弱面的空间体积，增加了煤体孔隙率；另一方面原生孔裂隙等弱面的延伸增加了孔裂隙之间的连通，形成相互交织的多裂隙连通网络。产生或增加的裂隙能有效缩短煤岩层的破断距，从而实现缩短工作面初采初放来压步距的目的。

高压水力压裂技术绿色环保、致裂效果好、技术经

济、安全性好，井下适用性强，该技术在国内外大型矿井应用相对较多，目前，陕北地区在工作面初采初放、煤层群开采上煤层遗留煤柱造成应力集中等给矿井的安全开采造成隐患，普遍采用水压致裂的手段解决该技术难题，很好的解决了使用炸药安全性差、成本高、污染井下空气、干扰回采工序、影响回采进度等缺点。例如，神华亿利能源有限责任公司（黄玉川煤矿）、神华新疆能源集团（宽沟矿、碱沟矿）、大同煤矿集团有限责任公司（塔山矿）、陕煤化集团（张家峁矿、红柳林矿、柠条塔矿、韩家湾矿），张家峁 15208 工作面压裂后回采至 35m 顶板垮落，22201 工作面回采 10m 时直接顶垮落，红柳林煤矿 24207 工作面回采至 26m 顶板发生大面积垮落，顶板初次垮落步距大大缩短，有效的避免了顶板大面积来压造成的危害，已在生产实践中显示出良好的技术经济和社会效益。

2.2 应用工作面概况

拜城县峰峰煤焦化有限公司弘扬煤矿 2303 工作面设计走向长度为 896m，倾向宽度为 153m，切眼位置两顺槽间垂高约 67.4m，切眼位置煤层平均倾角 26°。2303 工作面回采煤层为 A3 煤层，煤层厚度最大 8.7m，最小 5.9m，局部煤层有夹矸，夹矸厚度 0.1-0.2m。A3 煤层结构简单，属稳定型煤层，煤层倾角 28-32°。工作面直接顶为厚度约 1.5m 的粗砂岩，老顶为厚度约 14.72m 的厚砂岩，更高的岩层为厚度不等的中砂岩及细砂岩；煤层直接底为泥岩。2303 工作面采用放顶煤开采方式，开采厚度大，煤层倾角约 30°左右，属于倾斜煤层，在开采过程中顶板垮落不易控制，对于初次初放顶板的控制要求更高。

3 压裂系统组成

3.1 高强封孔器

由中心管和封隔器胶筒组成水路通道，中心管注入高压水，通向压裂段，通过水的高压压裂岩孔；封隔器与中心管形成的空间，存储高压水用以密封压裂段；通过连杆将两支封隔器相连，岩孔压裂段处于两支封隔器之间。试验时，先要用手动泵通过高压胶管给封隔器胶筒与中心管间隙加压，密封岩孔压裂段，不使压裂段高压水外泄，封隔器连杆拉住两只封隔器，保持封隔器平衡，使封隔器与岩孔没有相对位移。

3.2 压裂注水杆

注水管连接处用“O”型圈密封，螺纹扣连接，长度为1.5m。压裂注水杆作用主要有两个，其一，作为连接构件将连接好的封隔系统送至钻孔的预定位置；其二，作为加压通道对封隔的钻孔段进行压裂。

3.3 高压水泵 / 乳化液泵站

其作用是给压裂段加压，型号：HS9028A-82/60，参数为：油泵流量80L/min，额定压力62MPa，功率90kW，电压660/1140V。高压泵由专业操作员操作，开泵、加压及停泵严格按照高压泵操作与压裂要求执行。

3.4 流量水压监测仪

采用KJ327-F水压致裂数据采集仪实时监控压裂过程，实时记录流量和压力变化曲线，将采集结果传送给计算机进行处理计算。该仪器系矿用本质安全型。

预裂缝起裂后水压会有所下降，继而进入保压阶段，在这个阶段，裂纹扩展的同时伴随着新裂纹的产生，利用流量计监测流量及注入的水量，保证顶板岩层充分弱化和软化，压裂过程中及时观测压裂孔周围顶板出水情况。

4 压裂工艺介绍

水力压裂的工艺过程利用手动泵为封隔器加压使胶筒膨胀，达到封孔目的，然后连接高压泵实施压裂。

封孔工艺流程图如图1所示，封孔压力为12~16MPa，严格按照图中连接管路，保证连接处密封完好，试压达到要求后投入使用。试压时加压到2~5MPa检查密封情况。

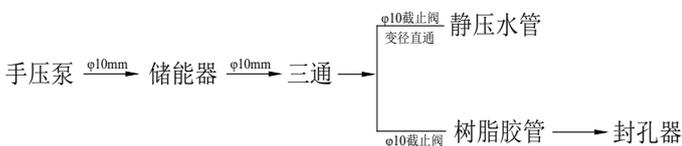


图1

加压压裂工艺流程图如图2所示，压裂时间根据泵压确定，泵压稳定后停止压裂。

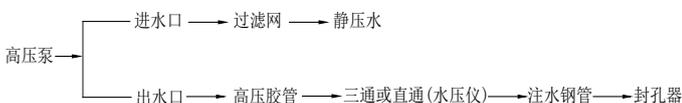


图2

5 现场需协作事项及要求

5.1 工期、地点

①准备时间：人员培训、设备到矿检修、设备入井、升井及准备施工所占用的时间；②施工时间：打孔及压裂时间需20天；③施工地点：两巷的端头靠近工作面切眼位置。

5.2 准备工作及协作事项

①井下供排水：实施场所内的供水压力不小于1MPa，压力不足时设置增压泵；回风巷和运输巷低洼处布置排水泵，并设置备用泵，总排水能力在60m³/h；②井下供

配电：施工共有2台机电设备（1台高压泵和1台钻机），1台为90kW（所需电缆不小于50²），一台为45kW（电缆不小于35²），电压均为660V/1140V，电缆主线不小于90平方。开工前需矿方提供馈电（400）和开关（120开关1台、80开关2台），布置于施工位置。另需电缆2趟：50²、35²电缆各一趟（长度根据馈电位置确定，需满足可以布满切眼的要求）。电缆与开关选择根据矿方条件决定，满足使用要求即可；③设备入、升井：高压泵、水箱、管路及配套设备运输：重约3t，地面装入材料车运输至施工地点，用叉车卸车；④施工方人员、车辆保障：矿方需要安排机具及人员进行预裂孔施工，在预裂过程中预裂工人每班4人。

6 工作面顶板高压水预裂初次放顶方案

高压水预裂技术对坚硬顶板的控制有着非常明显的效果，主要表现在压裂和软化两个方面，从而削弱顶板的强度和整体性，使采空区顶板能够分层分次垮落，缩短初次来压和周期来压步距，达到减小或消除坚硬难垮顶板对工作面回采危害的目的。

6.1 弘扬煤矿2303工作面顶板高压水预裂初次放顶目标

利用高压水预裂技术对2303工作面坚硬顶板进行弱化，使直接顶及时垮落，不形成大面积悬顶，减弱来压强度，使工作面安全正常回采。

6.2 高压水预裂钻孔布置及参数选择

6.2.1 钻孔压裂高度（层位）确定

根据水文地质综合柱状图显示，2303工作面老顶岩性为粗砂岩、中砂岩及细粒砂岩，总厚度大。煤层采高为8.5m，由于煤层倾角大，无法在切眼实施预裂，故在工作面两顺槽内实施，压裂垂高设计在28~38m间，故压裂影响垂高应在40m左右。具体水力压裂过程中可以有针对性的进行预裂，以达到更好的压裂效果。

6.2.2 钻孔参数确定

根据高压水预裂理论、最大拉应力准则及2303工作面切眼顶板岩层结构、岩层厚度、岩性及采高。结合弹性理论、2303工作面顶板条件及在其他矿井的高压水预裂经验，可估算2303综采工作面初采初放高压水预裂压力约为25~40MPa。与其他矿井的高压水预裂经验基本一致。

为保证压裂效果，回风巷内钻孔采用高位钻孔与低位钻孔组合布置的形式，这样布置既可以保证压裂效果，又不会使顶板过早的垮落。结合弘扬煤矿岩层强度，回风巷内高位孔间距选择15m、中位孔间距也选择15m、低位孔间距也选择15m，三类孔组合使用，即高位孔、中位孔和低位孔间距为5m；因为压裂不在同一高度，故可以提高压裂效果。

运输巷由于位置低，只布置一类孔，孔间距为10m，切眼内只布置一类孔，与切眼轴线夹角为30°，偏向胶运顺槽一侧，间距为23m。

①在回风巷内布置高位压裂钻孔S(S1-S6，共6个)、

低位压裂钻孔 L (L1-L4, 共 4 个) 和高位压裂钻孔 H (H1-L4, 共 4 个), 钻孔 S、H、L 垂直巷道轴线向工作面侧交替布置, 孔间距为 5m; 胶运巷内布置压裂钻孔 J (J1-J6, 共 6 个), 垂直巷道轴线向工作面侧布置, 孔间距为 10m, 在切眼内布置压裂钻孔 Q (Q1-Q4, 共 4 个), 间距为 23m, 与切眼轴线夹角为 30°, 偏向胶运顺槽一侧; ②高位压裂钻孔 -S, 钻孔长度 45m, 倾角 45°; 高位压裂钻孔 -H, 钻孔长度 60m, 倾角 20°; 低位压裂钻孔 -L, 钻孔长度 80m, 倾角 1°; 胶运巷内压裂钻孔 -J, 钻孔长度 75m, 倾角 55°; 切眼内压裂钻孔 Q, 钻孔长度 40m, 倾角 40°; ③钻孔 S 开口位置距离底板 2.8m 处, 钻孔 H 开口位置距离底板 2.8m 处, 钻孔 L 开口位置距离底板 2.8m 处, 钻孔 Q 开口位置距离底板 2.8m 处; ④钻孔进尺总计: 总钻孔数为 22 个; 180m (4 个 S 孔) + 320m (4 个 L 孔) + 240m (4 个 H 孔) + 450m (6 个 J 孔) + 160m (4 个 Q 孔) = 1350m; ⑤钻孔采用 56mm 钻头, 42mm 钻杆钻进, 成孔孔径 60mm 左右, 钻孔完成后孔内需冲洗干净。

6.3 压裂工艺及要求

6.3.1 压裂施工工艺流程

压裂施工工艺流程如图 3 所示。

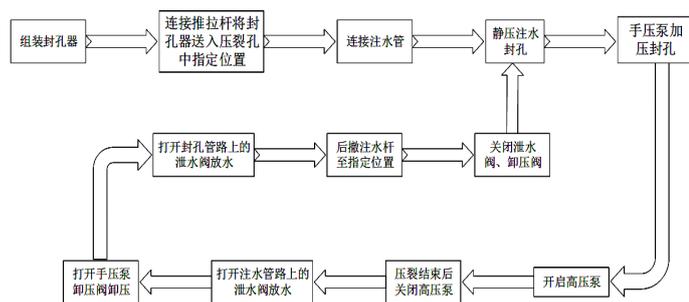


图 3

6.3.2 单孔压裂次数

压裂次数根据顶板岩层的结构和岩层厚度确定压裂的次数, 从钻孔底部逐步向孔口压裂, 压裂间隔 3~5m, 具体根据钻孔窥视结果和压裂情况而定, 压裂最终位置为煤层顶板上方 2~4m 处, 单孔压裂次数不少于 4 次。

6.3.3 单次压裂时间

根据周围钻孔出水情况以及压裂曲线确定, 当压裂曲线压力显著降低后, 出水量或进水量约为 80L/min 时, 停止压裂作业, 根据周边实施经验, 单次压裂时间约为 20~30min。

7 施工技术要求

①施工期间, 施工单位必须严格按照设计参数进行施工; ②压裂作业前检查巷道附近有害气体的浓度, 安全后方可开始作业; ③压裂前检查管路接头部位密封情况, 确保无误后方可开始压裂, 压裂过程中, 严禁人员从压裂钻孔前通过, 以防注水管从钻孔中穿出伤人; ④封孔器长度约 2.2m, 封孔器及压裂杆送入钻孔中后首次压裂位置为距离孔底 1.5m 处, 后退式分段预裂, 边压

裂边撤杆, 即从钻孔底部向孔口逐次压裂注水。压裂注水时间根据现场情况确定, 预计不低于 20min; 每次退出 3~5 根压裂杆继续进行封孔压裂注水, 若孔口及周边孔出水量大则视情况退 1~2 根压裂杆再进行封孔压裂注水; ⑤压裂注水过程中, 保证一定的注水时间, 确保压裂、软化充分, 同时安排专人检查压裂孔周围顶板, 当有大量水从顶板中流出时, 停止压裂注水; 压裂过程中, 安排专人观测顶板支护情况, 出现顶板变形、锚杆断裂时, 立即停止该孔压裂, 设置临时支护, 压裂 40m 范围以外的钻孔; ⑥压裂注水时, 距离压裂孔 50m 处拉警戒, 期间除作业人员外禁止人员通行, 操作人员距离注水孔开口位置 20m 以上, 防止高压水或注水管穿出伤人; 压裂过程中, 严禁人员从压裂钻孔前通过, 以防注水管从钻孔中穿出伤人; ⑦压裂注水过程中要仔细听运行声音, 发现声音异常, 必须立即停机检查, 确认正常后方可使用; ⑧高压水预裂采用倒退式压裂法, 即从钻孔底部向孔口逐次压裂, 钻孔和压裂施工可平行作业, 平行作业时间距不小于 40m。

8 结论

通过水力压裂切顶卸压技术试验与应用, 取得了如下效果: ① 2303 综放面采用水力压裂切顶卸压技术, 缩短了老顶初次垮落步距, 由原来 30~35m 缩小至 13~15m; ②顶煤多回收创高效。2303 综放面应用水力压裂切顶卸压技术, 与 2302 初采来压顶板步距比较提前 20m, 顶煤多回收 2.48 万 t, 创收 372 万元; ③节约费用 528 万元。采用水力压裂切顶卸压技术, 比采用火工品深孔爆破技术预裂顶板节约费用 328 万元, 节约巷道维修费用 200 万元; ④降低了回风瓦斯浓度。原工作在同初采垮落时回风瓦斯浓度达到 0.95% 左右, 实施后老顶初次垮落时回风瓦斯浓度减小至 0.65%。

通过实施水力压裂要切顶卸压技术实践, 证明高压水预裂有效弱化顶板岩层, 压裂水能够扩展至临近钻孔, 水力裂缝的扩展半径可达 6~10m, 保证裂缝有效贯通; 工作面回采过程中顶板能够及时垮落, 垮落步距缩短至 13~15m, 从而保证了工作面安全回采。

参考文献:

- [1] 左明. 煤矿顶板注高压水预裂技术浅析 [J]. 科教导刊, 2018(25):1.
- [2] 武飞飞. 马兰矿工作面初次放顶高压水预裂效果研究 [J]. 煤, 2020,29(11):3.
- [3] 李晓华. 切顶预裂卸压技术的研究与应用 [J]. 煤炭与化工, 2019,42(9):1-5.
- [4] 李生晋. 水力预裂在薄煤层中的应用 [J]. 当代化工研究, 2021(19):2.
- [5] 杜江涛. 水力预裂超前切顶卸压治理巷道动压技术 [J]. 江西煤炭科技, 2019(2):77-78+85.

作者简介:

王伟智 (1980-), 男, 河北邢台人, 采矿工程师, 硕士, 研究方向: 采矿工程。